

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-332956

(43)Date of publication of application : 22.12.1995

(51)Int.Cl.

G01B 11/30

(21)Application number : 06-123843

(71)Applicant : YAMATAKE HONEYWELL CO LTD  
YOSHIZAWA TORU

(22)Date of filing : 06.06.1994

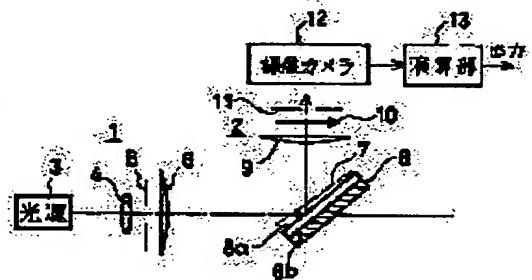
(72)Inventor : FUJIWARA HISATOSHI  
OTANI YUKITOSHI  
YOSHIZAWA TORU

## (54) APPARATUS FOR MEASURING SURFACE SHAPE

## (57)Abstract:

PURPOSE: To remove reflections from a grating forming moire fringes.

CONSTITUTION: A coherent light from a light source 3 is cast on an object 8 through a grating 7. The cast light is reflected, forming moire fringes at the grating 7. The moire fringes are photographed by a camera 12, and a surface shape of the object 8 is measured from the photographed result. An angle of the grating 7 is properly adjusted so as to prevent the light reflected and diffracted by the grating 7 at that time from entering the photographing camera 12. A light reflected from a protecting cover 8b of the object 8 is distinguishably measured from the reflected/diffracted light from a substrate 8a by rotating a polarizer 10.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

10.07.1996

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁（J P）

(12) 公開特許公報（A）

(11)特許出願公開番号

特開平7-332956

(43)公開日 平成7年(1995)12月22日

(51)Int Cl.<sup>4</sup>

G 0 1 B 11/30

識別記号

1 0 1 A

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数8 O L（全 8 頁）

(21)出願番号 特願平6-123843

(22)出願日 平成6年(1994)6月6日

(71)出願人 000006666

山武ハネウエル株式会社

東京都渋谷区渋谷2丁目12番19号

(71)出願人 593099344

吉澤 徹

東京都府中市新町一丁目19番5号 府中第  
2住宅1-102

(72)発明者 藤原 久利

神奈川県藤沢市川名一丁目12番2号 山武  
ハネウエル株式会社藤沢工場内

(72)発明者 大谷 幸利

東京都青梅市長淵4-1349-6

(74)代理人 弁理士 山川 政樹

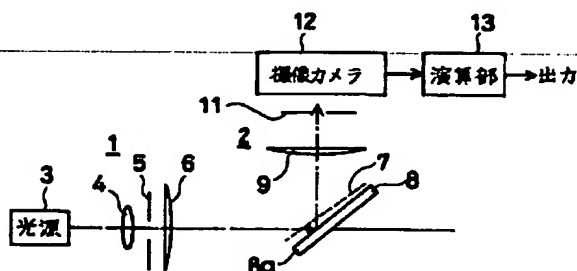
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 表面形状測定装置

(57)【要約】

【目的】 モアレ縞を形成する格子からの反射を除去する。

【構成】 光源3からのコヒーレントな光が格子7を介して被測定物体8に照射される。照射された光はそこで反射され格子7でモアレ縞を作る。このモアレ縞が撮像カメラ12で撮像され、その撮像された結果から被測定物体8の表面形状が測定される。そのとき格子7で反射回折された光が撮像カメラ12に入射しないように、格子7の角度を適当に調整しておく。また、偏光子10を回転することにより、被測定物体8の保護カバー8bからの反射光と、基板8aからの反射回折光を区別して測定できる。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 被測定物体に平行光を投影する投射系と、  
その投射系と被測定物体の間に挿入された格子と、  
被測定物体の測定面から反射されて前記格子上にできる  
モアレ縞を受光する受光系と、  
前記受光系出力を撮像する撮像カメラと、  
前記格子位置を被測定物体の測定面に対して垂直方向に  
複数回移動させ、そのときに得られる撮像カメラ出力に  
基づいて所定の演算を行い被測定物体の測定面平坦度を  
求める演算部とから構成され、  
前記格子はそこからの反射回折光が前記撮像カメラに入  
射しない角度に設定することを特徴とする表面形状測定  
装置。

【請求項 2】 被測定物体に平行光を投影する投射系  
と、  
前記投射系と被測定物体の間に挿入された格子と、  
前記格子と被測定物体との間に挿入された 4 分の 1 波長  
板と、  
前記被測定物体の測定面から反射されて前記格子上にで  
きるモアレ縞を受光する受光系と、  
前記受光系出力を撮像する撮像カメラと、  
前記撮像カメラと前記被測定物体との間に設けた偏光子  
と、  
前記格子位置を被測定物体の測定面に対して垂直方向に  
複数回移動させ、そのときに得られる撮像カメラ出力に  
基づいて所定の演算を行い被測定物体の測定面平坦度を  
求める演算部とから構成されることを特徴とする表面形  
状測定装置。

【請求項 3】 請求項 1 において、  
被測定物体はデータ記録面上に透明層を有し、  
撮像カメラと前記被測定物体との間に偏光子とを有し、  
前記偏光子は前記透明層の上面または下面いずれか一方  
からの反射回折光のみを通過させるものであることを特  
徴とする表面形状測定装置。

【請求項 4】 請求項 1 または請求項 2 のいずれかにお  
いて、

透明な被測定物体測定面の裏面に貼着され被測定物体の  
屈折率とほぼ等しい屈折率を有し光を吸収または散乱す  
る物体を備えたことを特徴とする表面形状測定装置。

【請求項 5】 請求項 1 または請求項 2 のいずれかにお  
いて、  
光源のコヒーレント長は測定系内で光による多重反射が  
起こる一番短い干渉の光学的距離より十分短いことを特  
徴とする表面形状測定装置。

【請求項 6】 請求項 1 または請求項 2 のいずれかにお  
いて、

格子を第 1 の位置と、その第 1 の位置に対して前記格子  
の面と平行で前記格子のピッチ方向に前記格子ピッチの  
半分の奇数倍移動した第 2 の位置とに制御する格子移動

2

手段と、

前記第 1 および第 2 の格子位置に対するモアレ縞を撮像  
し、加算または平均処理して被測定物体測定面のうねり  
量を求める演算部を備えたことを特徴とする表面形状測定  
装置。

【請求項 7】 請求項 1 から請求項 6 のいずれかにおい  
て、  
受光系に被測定物体の測定面からの複数次数の反射回折  
光を通過させるスリットを設けたことを特徴とする表面  
形状測定装置。

【請求項 8】 請求項 1 から請求項 6 のいずれかにおい  
て、  
受光系に被測定物体の測定面からの所定次数の反射回折  
光を通過させる第 1 の位置に置かれたスリットと、  
前記所定次数では通過できなかったと次数の反射回折光  
を通過させるようにスリットを第 2 の位置に移動させる  
移動手段とを備え、

前記第 1 の位置に置かれたスリットから得られる反射回  
折光により演算された前記被測定物体の測定面の表面形  
状と、前記第 2 の位置に置かれたスリットを通過した反  
射回折光から得られた前期被測定物体の表面形状を表面  
形状を合成する合成手段とを設けたことを特徴とする表  
面形状測定装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、コンパクトディスク、  
光磁気ディスク、ハードディスク等の比較的なめらかな  
表面形状を有するものの表面形状を測定する表面形状測  
定機に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】近年、光ディスク等の高密度記憶ができ  
る記憶媒体が多用されているが、記憶媒体を更に高密度  
記憶させるためには平面性の良いことが要求され、その  
ためには、製造時に表面形状を検査する必要がある。こ  
の測定を行なうのに従来は特開平 3-285106 号公  
報、特開平 4-235306 号公報に基板表面へ光ビー  
ムを照射して、反射光の角度変化を映像の濃淡の変化で  
とらえ、うねりを検出するものが提案されている。

【0003】しかしこの方法では相対値は測定できても  
絶対値を測定することができないことから、表面形状を  
測定するような用途には使用できない。表面形状の等高  
線を表示させる方法として格子を用いたモアレトポグラ  
フィーが考えられるが、この方式によると等高線の間隔  
は数十  $\mu\text{m}$  が限界であって、格子と被測定物体との間隔  
が広がるにつれて等高線間隔が広がり、表面上の等高線  
間隔が正確に分からないし、またうねりが凸なのか、凹  
なのかも判別できない。また、反射物体はモアレ縞を作  
りにくい。そこで、これらの問題を解決する方法として  
反射回折型モアレ位相シフトを使用する方法が「位相シ  
フトによる実体格子形モアレ法」として精密工学会秋季

3

大会学術講演会論文集(1991)677頁に開示されている。

【0004】これは検査対象物より少し離れた位置に格子を配設して、その格子を介して検査対象物に光を照射し、その反射回折光を検出してモアレ縞を作り、かつ格子の位置を上下してそのモアレ縞が変化する状態から表面形状の絶対値を高精度で検出しようとするものである。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながらこのような従来の装置は、表面形状を測定した場合、格子面での反射回折光と、被測定物体の測定面からの反射回折光の像は同じ光路を通して撮像カメラに入射されるため像が重なり合い、測定できないという問題があった。また、被測定物体が光ディスク等のように透明層を有する場合、透明層の上面の反射回折光と、透明層の下面の反射回折光は同じ光路を通して撮像カメラに入射されるため、像が重なり合い、測定面が透明層の上面でも下面でも測定できないという問題があった。本発明はこのような状況に鑑みてなされたもので、格子表面の反射回折を除去するとともに、透明層がある場合でも透明層の上面と透明層の下面の凹凸を独立して測定できるようにしたものである。

【0006】

【課題を解決するための手段】このような課題を解決するために請求項1の発明は、格子上にできるモアレ縞を撮像する撮像カメラと、格子位置を被測定物体の測定面に対して垂直方向に複数回移動させ、そのとき得られる撮像カメラ出力から被測定物体の測定面うねり量を求める演算部とから構成され、格子はそこからの反射回折光が撮像カメラに入射しない角度に設定したものである。請求項2の発明は、被測定物体に平行光を投影する投射系とその投射系と被測定物体の間に挿入された格子と、その格子と被測定物体との間に挿入された4分の1波長板と、被測定物体の測定面から反射されて前記格子上にできるモアレ縞を受光する受光系と、撮像カメラと前記被測定物体との間に設けた偏光子とを備え、格子位置を被測定物体の測定面に対して垂直方向に複数回移動させ、そのとき得られる撮像カメラの出力から被測定物体の表面うねり量を求める演算部から構成されるものである。請求項3の発明は撮像カメラと被測定物体の間に変更しを挿入し、透明層の上面あるいは下面のいずれかからの反射回折光を通過させたものである。

【0007】請求項4の発明は請求項1または請求項2の発明において、透明な被測定物体測定面の裏面に貼着され、被測定物体の屈折率とほぼ等しい屈折率を有し、光を吸収または散乱する物体を有するものである。請求項5の発明は、請求項1または請求項2の発明において、測定系内で光による多重反射の干渉の起こる一番短い光学的距離よりコヒーレント長が十分短い光源を有す

4

るものである。請求項6の発明は請求項1または請求項2の発明において、格子を第1の位置と、その第1の位置に対して格子面と平行で格子のピッチ方向に格子ピッチの半分の奇数倍移動した第2の位置とに制御する格子移動手段と、第1および第2の格子位置に対するモアレ縞を撮像し、加算または平均処理して被測定物体測定面のうねり量を求める演算部を備えたものである。請求項7の発明は請求項1から請求項6の発明において、受光系に複数次数の反射回折光を通過させるスリットを設けたものである。請求項8の発明は請求項1から請求項6の発明において、受光系に所定次数の反射回折光を通過させるスリットから得られる出力を演算することにより得られる表面形状と上記所定次数では取り込めなかった次数の反射回折光を通過させるスリットから得られる出力を演算することにより得られる表面形状を合成させる手段を設けたものである。

【0008】

【作用】請求項1と請求項2の発明は格子からの反射回折光が撮像カメラに入射しないので、うねり量が求められる。請求項3の発明は透明層の上面、下面の反射回折光を分離できるのでうねり量が求められる。請求項4の発明は透明な被測定物体測定面の裏面からの反射回折光が撮像カメラに入射しないのでうねり量が求められる。請求項5の発明は、光による多重反射が起こる一番短い干渉距離より十分短いコヒーレント長を有する光を発生する光源によって格子上にできるモアレ縞を、格子位置を被測定物体測定面に対して垂直方向に複数回移動させながら撮像カメラで撮像し、そのとき得られる撮像カメラ出力に基づいて所定の演算を行なうことによって干渉による光のむらを消すことができるので被測定物体の測定面うねり量が求められる。

【0009】請求項6の発明は、格子を第1の位置と、その第1の位置に対して格子面と平行で格子のピッチ方向に格子ピッチの半分の奇数倍移動した第2の位置とに制御する格子移動手段と、第1および第2の格子位置に対するモアレ縞を撮像し、加算または平均処理して被測定物体測定面のうねり量を求める演算を行なうことによって被測定物体測定面上の模様、光のむらの影響を除去できるため、被測定物体の測定面うねり量が求められる。請求項7の発明は請求項1から請求項6の発明において、受光系に設けた複数次数反射回折光を通過させるスリットから得られる光によって被測定物体測定面全体を撮像カメラに撮影することができるため、うねり量が求められる。請求項8の発明は請求項1から請求項6の発明において、受光系に設けた所定次数の反射回折光を通過させるスリットから得られる光によって被測定物体測定面の一部分の表面形状を求め、更にその所定次数では取り込めなかった次数の反射回折光を通過させるスリットから得られる光によって被測定物体の他の部分の表面形状を求め、その異なる表面形状を合成することによ

5

って、被測定物体測定面全体のうねり量が求められる。

【0010】

【実施例】図1は本発明の第1の実施例を示す図であり、ハードディスク等の比較的なめらかな面の形状を測定する場合に適するものである。光源3はヘリウムネオンレーザー等の単色点光を出力するようになっており、投光系1を介して出力される。投光系1は集光レンズ4、スペイシャルフィルタ5を通過し、コンデンサレンズ6によって所定の面積を有する平行光ビームとなるようにして投射する。その投射光は光ビームと所定の角度を有する格子7を通過して、ハードディスク等の被測定物体8の測定面8a上に照射され、格子7の影を作る。この格子7は後述するように、被測定物体8の測定面8aとは平行にならない角度に設定されている。

【0011】被測定物体8の測定面8aで反射された光は、格子状に影を作るが、その影を含む光は再び格子7と重ね合わされる。このとき、重ね合わされた光は被測定物体8の測定面8aの表面形状情報を含んでおり、表面の凹凸に応じて等高線のモアレ縞を作り、受光系2を介して撮像カメラ12によって撮像される。このとき格子7からの反射回折光が撮像カメラ12に入射しないように、所定の角度の設定が必要がある。

$$I(X, Y) = a(X, Y) + b(X, Y) \cos(2\pi h / \Delta h + \phi)$$

【0015】ここで、コサインの中の位相 $\phi$ を0、 $\pi/2$ 、 $\pi$ 、 $3\pi/2$ と移動させ、4種類のメモリされた強度信号をそれぞれ $I_0(X, Y)$ 、 $I_1(X, Y)$ 、 $I_2(X, Y)$ 、 $I_3(X, Y)$ とする、次のようになる。

$$I_0(X, Y) = a(X, Y) + b(X, Y) \cos(2\pi h / \Delta h)$$

..... (2)

$$I_1(X, Y) = a(X, Y) + b(X, Y) \cos(2\pi h / \Delta h + \pi/2)$$

$$= a(X, Y) - b(X, Y) \sin(2\pi h / \Delta h)$$

$$I_2(X, Y) = a(X, Y) + b(X, Y) \cos(2\pi h / \Delta h + \pi)$$

$$= a(X, Y) - b(X, Y) \cos(2\pi h / \Delta h)$$

..... (4)

$$I_3(X, Y) = a(X, Y) + b(X, Y) \cos(2\pi h / \Delta h + 3\pi/2)$$

$$= a(X, Y) + b(X, Y) \sin(2\pi h / \Delta h)$$

..... (5)

これよりうねりの絶対量 $h(X, Y)$ は次のように求め

$$h = \Delta h / 2\pi \tan^{-1}((I_4 - I_1) / (I_0 - I_2))$$

..... (6)

【0016】このように、バイアス $a$ 、変調成分 $b$ の影響を受けることなく、うねりの結果を出力することができる。この構成において、格子7の面を被測定物体8の測定面8aと平行でないように配置することにより、格子面7の反射回折光は被測定物体8の測定面8aからの反射回折光と光路がずれ、スリット11で格子からの反射回折光が遮断され、撮像カメラ12上には投影されない。図8に上記実施例によるシリコン基板の表面形状を測定した結果を示す。また、図3に示すように被測定物体8が光ディスク等のようにデータ記録面上に保護用の

6

【0012】受光系2は入射光を受光するレンズ9、被測定物体8の測定面8aからの反射光が格子を通過した時に出る所望の次数の回折光を選択するためレンズ9の焦点面付近に設けられたスリット11から構成されている。そして、被測定物体8の測定面8aのうち、所望する測定範囲を写すことのできる位置にCCDカメラ等の撮像カメラ12を設けて、その出力を図示しない画像メモリ等の記憶素子に取り込む。

【0013】次に格子7を高さ方向、すなわち被測定物体8の測定面8aの面に対して垂直な方向に、モアレ縞の等高線縞間隔の $1/4$ （図2に示す位相 $\pi/2$ に相当する）だけ、ピエゾアクチュエータ等のステージで移動させ、同様に撮像カメラ12の強度信号を記憶素子に取り込む。この動作を図2に示す「0」「 $\pi/2$ 」「 $\pi$ 」「 $3\pi/2$ 」まで繰り返すことで合計4枚の画像を得て、演算部13で次の演算を行ない、うねり量を出力する。

【0014】被測定物体8の測定面8a上 $(X, Y)$ の点の光強度を $I(X, Y)$ は図2に示すように、 $a$ を縞のバイアス、 $b$ を変調成分、 $h$ を格子面までの距離、 $\Delta h$ を等高線から次の等高線までの高さとするときつぎのようになる。

2 $(X, Y)$ 、 $I_3(X, Y)$ とすると、次のようになる。

$$I_0(X, Y) = a(X, Y) + b(X, Y) \cos(2\pi h / \Delta h)$$

..... (2)

$$I_1(X, Y) = a(X, Y) + b(X, Y) \cos(2\pi h / \Delta h + \pi/2)$$

$$= a(X, Y) - b(X, Y) \sin(2\pi h / \Delta h)$$

$$I_2(X, Y) = a(X, Y) + b(X, Y) \cos(2\pi h / \Delta h + \pi)$$

$$= a(X, Y) - b(X, Y) \cos(2\pi h / \Delta h)$$

..... (4)

$$I_3(X, Y) = a(X, Y) + b(X, Y) \cos(2\pi h / \Delta h + 3\pi/2)$$

$$= a(X, Y) + b(X, Y) \sin(2\pi h / \Delta h)$$

..... (5)

られる。

透明層がある場合、その透明層の上面8aとデータ記録面側の下面8bの両面からの反射回折光は偏光状態が異なるため、受光系2に偏光子10を設け、その偏光子10を回転させることにより反射回折光を分離でき、光ディスク透明層上面8aのうねりとデータ記録面に相当する透明層下面8bのうねりを独立して計測することができる。

【0017】偏光による光の分離効率を上げるためには、被測定物体8の測定面8aに照射する光が直線偏光された状態であればよい。なお、光源3にはヘリウムネ

7

オンレーザーを使用しているが平行光を出すことのできる光源であれば良く、投光系1においては集光レンズ4、スペイシャルフィルタ5、コンデンサレンズ6は所望の平行な光ビームを均一に照射することができればミラー等を利用してよく、構成は問わない。格子の高さ方向の移動量とメモリ取り込み数は実施例に限らずに、 $h(X, Y)$ が計算できる量であれば他の組み合わせでも良い。図4は格子7からの反射回折光を遮断する第2の実施例であり、格子7と被測定物体8の間に4分の1波長板18を挿入し直線偏光された光を照射すると格子7

からの反射回折光は偏光状態が維持され、被測定物体8の測定面8aからの反射回折光は4分の1波長板18により、格子7からの反射回折光の偏光角と約90度異なる。  
【0018】従って受光系2に格子7からの反射光の偏光角とほぼ直角の偏光方向の光を通すように偏光フィルター10を設けると、格子7からの反射回折光を通さず、被測定物体8からの反射回折光のみを通すことができる。なお、この例では格子7は被測定物体8の測定面8aと平行でよい。図5は被測定物体8がガラス等の透明物体である場合の測定面形状を測定する例である。この場合は被測定物体8の測定面8aに対する裏面が大气と接するので、その部分で屈折率が相違することから反射が生じ、表面反射と裏面反射の像が重なり測定が難し

$$L = 2t \cdot n / \cos \theta = 4.24 \text{ (mm)}$$

この距離が光学系のレンズ内や他の部分での多重反射の光学的距離より短い場合、コヒーレント長が4.24mmより短い光源であれば、干渉が起きず、測定精度に影響を与えない。コヒーレント長の短い光源としてマルチモード半導体レーザー、SLD（スーパーluminescent diode）等がある。コヒーレント長は単色であれば短いほど良く、インコヒーレント光源であるナトリウムランプや水銀ランプに特定の輝線スペクトルのみを通過するフィルタを組み合わせたものでもよい。また、格子7からの反射回折光を除去するには第1の実施例による

$$I_a(X, Y) = A(X, Y) + B(X, Y) \sin(2\pi X/p)$$

測定物体8の測定面8a上で格子7に最も近い空間周波数を持つ成分の模様の強度分布を次のように定義する。  
(9) この結果、格子7と模様の重ね合わせにより次のような強度分布を持った、等高線縞と無関係のモアレ縞が

$$\begin{aligned} I_a(X, Y) I_b(X, Y) = & A(X, Y) C(X, Y) + A(X, Y) D(X, Y) \sin\{2\pi X/(p+\Delta p) + \zeta\} \\ & + B(X, Y) C(X, Y) \sin(2\pi X/p) \\ & + \{B(X, Y) D(X, Y)/2\} \sin\{2\pi X(2p+\Delta p)/(p+\Delta p) + \zeta\} \end{aligned}$$

【0021】(9)式の第2、3項は周波数が高いため無視でき、(10)式は次のようになる。

$$I_a(X, Y) I_b(X, Y) = \alpha(X, Y) + \beta(X, Y) \sin\{2\pi X(2p+\Delta p)/(p+\Delta p) + \zeta\}$$

但し、 $\alpha(X, Y) = A(X, Y) C(X, Y)$ 、 $\beta(X, Y) = B(X, Y) D(X, Y)/2$ とする。従って模様の空間周波数と格子7の空間周波数

8

くなる。このため、被測定物体8の裏面にその被測定物体8と光の屈折率がほぼ等しく、光を吸収する光吸収体16を貼着したものである。図1との相違点は、被測定物体8の測定面8aの裏面に被測定物体8と光の屈折率がほぼ等しい物体16を貼着された点である。このような構成をとると、撮像カメラ12に入射する光は被測定物体8の測定面8aからの反射回折光だけとなり、測定が容易になる。なお、光を吸収するためには可とう性物質に黒色顔料を添加する方法によって実現できる。また、光吸収体16は光を散乱する物体でもよい。光吸収体16の一例としてはスリーエム社製「2253 strip coating」が挙げられる。また、格子7からの反射回折光を除去するには第1の実施例でも第2に実施例による構成でもどちらでもよい。

【0019】光源のコヒーレント長が長いとき光学系の各面での多重反射により干渉を起こし、撮像カメラに等高線縞以外の干渉縞が観測される。そのため部分的に信号強度が極端に小さくなり測定精度を落としたり、測定が難しくなることがある。しかし、光源のコヒーレント長を多重反射の起こる一番短い光学的距離よりさらに短くすると干渉は起きない。例えば、屈折率 $n=1.5$ 、厚み $t=1\text{mm}$ のガラスであり、光源3から被測定物体8の測定面8aへの入射角： $\theta$ が45度の場合の光学的距離 $L$ は次のようにして求められる。

$$\dots (7)$$

構成でも第2に実施例による構成でもどちらでもよい。

【0020】図6の例で表面8aと裏面8bを有する被測定物体8のうち、表面側の測定面8aに印刷あるいはコーティングが施されており、かつ、その模様が格子7の空間周波数と近い場合、これらの模様、むらが格子7と干渉をおこし、測定誤差の原因となる。ここで格子7は正弦状の透過強度分布を持っていると仮定し、 $A$

$(X, Y)$ を格子透過強度のバイアス、 $B(X, Y)$ を変調成分、 $p$ を格子のピッチとし、その透過強度分布は次のように定義する。

$$\dots (8)$$

数を持つ成分の模様の強度分布を次のように定義する。  
(9) 観測される。

$$\dots (9)$$

$$\dots (10)$$

$$\dots (11)$$

のピークが観測される。つまり(1)式は次のようになる。

9

$$I(X, Y) = a(X, Y) + b(X, Y) \cos(2\pi h / \Delta h + \phi) \\ + \alpha(X, Y) + \beta(X, Y) \sin(2\pi X(2p + \Delta p) / (p + \Delta p) + \zeta) \\ \dots (12)$$

10

【0022】今、この状態で(12)式の $\phi$ を $2\pi$ シフトさせ、図6の受光系2側から格子を見た場合、 $\zeta$ は $\pi$ だけ移動する。このように被測定物体8の測定面8aに模様がついている場合、(2)から(5)式に示すように位相 $\phi$ をシフトさせ、(6)式の計算をした場合、

(12)式の第4項は消えずに残り、測定精度に影響を与える。そこで、各画面のデータを取り込む毎に格子面と平行かつ、格子のピッチ方向に $p/2$ の奇数倍、つまり $\zeta$ を $(2n+1)\pi$  (但し $n=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$ )だけ動かして平均または加算処理すると式(12)の第4項は相殺され誤差項は消える。格子を動かすにはピエゾアクチュエータ、ステッピングモーター等の方式を用いればよい。また、格子からの反射回折光を除去す

$$\delta h = p (\tan \theta - \tan \theta_m) / 2$$

ここで $\theta_m$ は次に示すとおりである。

$$\sin \theta_m = \sin \theta + m\lambda / p$$

但し $m$ は通過させる回折光の次数、 $\lambda$ は光源の波長、 $p$ は格子のピッチである。

【0024】今、仮に $\theta=45$ 度、 $p=100\mu\text{m}$ 、 $\lambda=633\text{nm}$ 、 $m=2$  ( $m$ は回折次数)とする。 $m=2$ とは図7の(a)のスリット11中央部の大きい円( $m=0$ の回折光)から左右2つめの $m=2$ 、 $m=-2$ と書かれた円(回折光)までを通過させるようなスリット11であり、その構造例を図7(b)に示す。その場合の誤差は、(13)式により $\delta h=1.77\mu\text{m}$ であり、うねりが非常に大きい測定面に対しては無視できるレベルである。なお、スリット11については複数の次数を通過することができ、かつ格子からの反射回折光などの不要な光が撮像カメラ12内に入射しなければ形状は問わない。

【0025】図7(a)の例のようなスリット形状において被測定物体8測定面8aのうねり量が大きいとき、測定面8aからの反射回折光の一部が撮像カメラ12に投影されず、測定不能の部分がでてくる。そこで、スリット11で測定面8aからの反射回折光のうちそのスリット11で通過可能な次数の反射回折光のみを取り出し、測定面8aの一部分の表面形状の情報を取り込み、演算を行なう。次にスリット11を移動し測定面8aの前回取り込めない部分の表面形状の情報を取り込み演算を行なう。そして、それらを合成して広い面積にわたる部分の計測を行なう。このようにすれば、うねりが大きくても測定が可能になり、誤差が発生しない。

#### 【0026】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1の発明は格子からの反射回折光が撮像カメラに入射しない角に設定したので、格子からの反射回折光により測定が阻害されないという効果を有する。請求項2の発明は、格子と

るには第1の実施例による構成でも第2の実施例による構成でもどちらでもよい。

【0023】特定の次数の反射回折光のみをスリット11で選択、透過させるとスリット11面上では図7

(a)のような被測定物体8の測定面8aからの反射回折光が観測される。回折光は測定面8aのうねりが非常に大きい場合、測定面8aからの反射回折光の一部がスリット11を通過せず、測定不可能の部分が出てくる。そこでスリット11を複数の次数の反射回折光が通過するような図7(b)のような形状にする。測定面8aのうねりが大きいほど多くの回折光を取り込む必要があり、その場合測定誤差が発生する。その測定誤差 $\delta h$ は次のようになる。

$$\dots (13)$$

被測定物体8との間に4分の1波長板を挿入し、格子と撮像カメラの間に偏光子を挿入したので、被測定物体8の測定面8aからの反射回折光だけが撮像カメラで撮像され、格子からの反射回折光は撮像されないの、測定に影響しないという効果を有する。請求項3の発明は、請求項1の発明において、被測定物体8はデータ記録面上に透明層を有する場合、撮像カメラと被測定物体8との間に設けた偏光子を回転させることにより透明層の上面または下面いずれか一方からの反射回折光のみを通過させることができ、透明層上面のうねりと下面のうねりを独立して計測することが可能になるという効果を有する。

【0027】請求項4の発明は請求項1または請求項2の発明において、被測定物体8の屈折率とほぼ等しい屈折率を有し、光を吸収または散乱する物体を被測定物体8測定面8aの裏面に貼着するので、被測定物体8裏面での反射を防ぐことができるという効果がある。請求項5の発明は、請求項1または請求項2の発明において、コヒーレント長が十分短い光源を有することによって、測定系内の物体の多重反射干渉による光のむらを除去でき、測定が阻害されることを防止できるという効果を有する。

【0028】請求項6の発明は請求項1または請求項2の発明において、格子を第1の位置と、その第1の位置に対して格子面と平行で格子のピッチ方向に格子のピッチの半分の奇数倍移動した第2の位置とに移動し、それぞれの撮像出力を加算または平均した信号によって被測定物体8測定面8aのうねり量を測定するようにしたので、被測定物体8に文字あるいは模様が印刷されていても、また、光源むらがあっても測定結果が阻害されることはないという効果を有する。請求項7の発明は請求項1から請求項6の発明において、受光系に複数次数の反射回折光を通過させるスリットを設けたので、被測定物



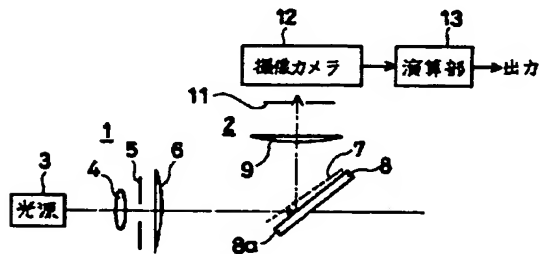
11

体 8 の測定面 8 a うねり量が大きくても、結果を測定できると言う効果を有する。請求項 8 の発明は請求項 1 から請求項 6 の発明において、受光系に所定次数の反射回折光を通過させるスリットから得られる出力を演算することにより得られる表面形状と上記所定次数では取り込めなかった次数の反射回折光を通過させるスリットから得られる出力を演算することにより得られる表面形状を合成させる手段を設けたので被測定物体 8 の測定面 8 a うねり量が大きくても、結果を測定できると言う効果を有する。

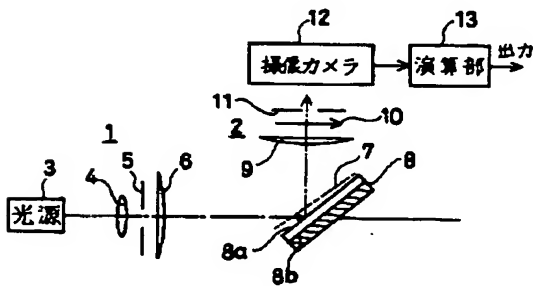
【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の一実施例の構成を示す図である。

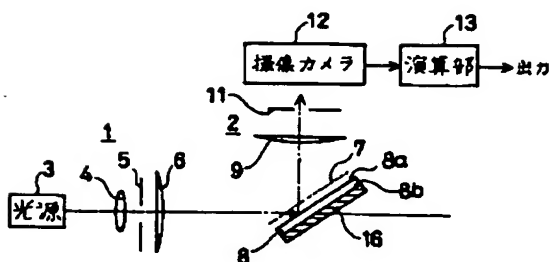
【図 1】



【図 3】



【図 5】



12

【図 2】格子の移動量を説明する図である。

【図 3】他の実施例の構成を示す図である。

【図 4】他の実施例の構成を示す図である。

【図 5】他の実施例の構成を示す図である。

【図 6】他の実施例の構成を示す図である。

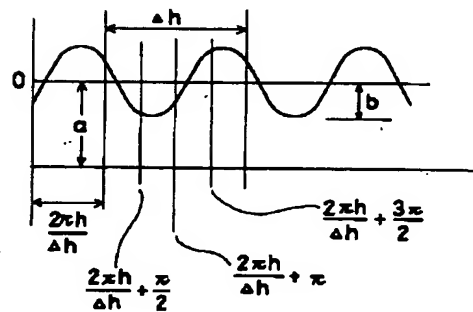
【図 7】他の実施例の構成を示す図である。

【図 8】測定結果の例を示す図である。

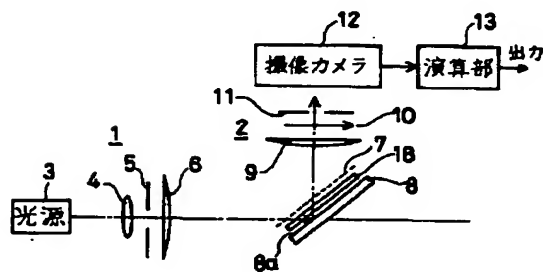
【符号の説明】

1…投光系、2…受光系、3…光源、4、6、9…レンズ、5…ピンホール、7…格子、8…被測定物体、10…偏光子、11…スリット、12…撮像カメラ、13…演算部、16…光吸収体、18…4分の1波長板

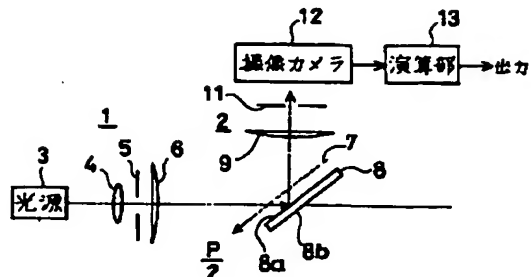
【図 2】



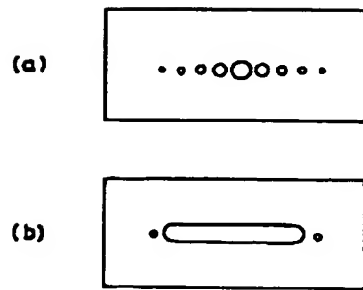
【図 4】



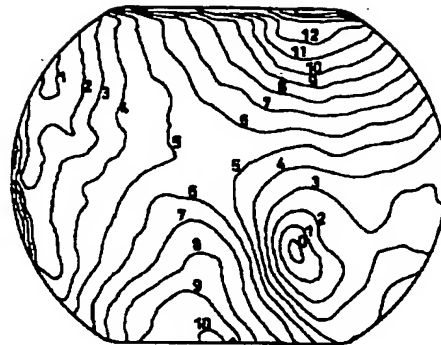
【図 6】



【図7】



【図8】




---

フロントページの続き

(72)発明者 吉澤 徹  
 東京都府中市新町1-19-5 府中第二住 20  
 宅1の102